

디지털트윈 기술의 도시 정책 활용 사례

(세종시 도시행정 디지털트윈 프로젝트를 중심으로)

Digital Twin Technology for Urban Policy Making (A Case Study of Policy Digital Twin of Sejong City)

정영준 (Y.-J. Jung, jjing@etri.re.kr)
 조일연 (I.Y. Cho, iycho@etri.re.kr)
 이정우 (J.-W. Lee, jeongwoo@etri.re.kr)
 김범호 (B.H. Kim, mots@etri.re.kr)
 이성호 (S.-H. Lee, sholee@etri.re.kr)
 임창규 (C.-G. Lim, human@etri.re.kr)
 이천희 (C.H. Lee, ch.lee@etri.re.kr)
 백의현 (E.H. Paik, ehpaik@etri.re.kr)
 진기성 (K.S. Jin, ksjin@etri.re.kr)
 김영철 (Y.C. Kim, kimyc@etri.re.kr)
 이상민 (S.M. Lee, sanglee@etri.re.kr)
 최민석 (M.S. Choi, cooldenny@etri.re.kr)
 김태호 (T.H. KIM, taehokim@etri.re.kr)
 장민주 (M.-J. Chang, jasminju@korea.kr)
 김산옥 (S.-O. Kim, sanog@korea.kr)
 김혜경 (H.-K. Kim, bijous@korea.kr)
 정승준 (S.-J. Jung, jungsj89@korea.kr)
 이선영 (S.-Y. Lee, abigcity@korea.kr)
 안주혁 (J.H. Ann, juhyeok91@korea.kr)

차세대시스템SW연구실 책임연구원
 차세대시스템SW연구실 책임연구원
 차세대시스템SW연구실 책임연구원
 차세대시스템SW연구실 책임연구원
 차세대시스템SW연구실 책임연구원
 차세대시스템SW연구실 책임연구원
 시각지능연구실 선임연구원
 시각지능연구실 책임연구원
 데이터중심컴퓨팅시스템연구실 책임연구원
 데이터중심컴퓨팅시스템연구실 책임연구원
 데이터중심컴퓨팅시스템연구실 책임연구원
 기술경영연구실 책임연구원/실장
 차세대시스템SW연구실 책임연구원/실장
 세종시청 스마트도시과 서기관/과장
 세종시청 스마트도시과 사무관
 세종시청 스마트도시과 주무관
 세종시청 스마트도시과 주무관
 세종시청 정보통계담당관실 주무관
 세종시청 대중교통과 주무관

ABSTRACT

National and social issues are becoming increasingly common, but traditional policy-making methods are no longer effective. Therefore, evidence-based policy making is emerging as an alternative paradigm. Digital twin technology is one of the digital support tools for the new data-driven policy-making process. This study presents ongoing government experiments in the world where digital twin technology is applied to policy making and describes our experience in developing digital twin platforms in Sejong—the de facto administrative capital of South Korea.

KEYWORDS 증거 기반 정책 수립, 도시행정 디지털트윈, 데이터 현행화, 실-가상세계 실시간 동기화, 도시 현상 모사 시뮬레이션, 인공지능 및 시뮬레이션 기반 예측, 정책 수립을 위한 시각화

* DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2021.J.360205>

* 본 연구는 2021년도 과학기술정보통신부의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임[No. 2018-0-00225, 과학적 정책 수립을 위한 도시행정 디지털트윈 핵심 기술 개발].



본 저작물은 공공누리 제4유형

출처표시+상업적이용금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.

©2021 한국전자통신연구원

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

I. 서론

1. 국가사회문제 정책 대응의 어려움

인구감소, 고령화 사회, 사회양극화, 부동산 버블, 감염병 대응, 재난지원금 등 국가사회적인 이슈에 대해 국가사회 차원의 지침을 제시하거나, 세제 정비, 지원금 지원을 위해 중앙정부와 지방자치단체의 정책적 대응이 중요한데, 이러한 현상은 점점 더 빈번히 나타나고 있다.

그런데, 이러한 정책 대응을 위해 정책 수립 시 어려움을 가중시키는 요인들이 있는데, 그 주요 요인 중 하나는 빠르게 변화하는 사회의 속도이며, 또 다른 하나는 국가사회의 복잡다양성의 심화이다. 빠르게 변화하는 사회 속도의 예로 초고령사회 진입속도를 들 수 있는데, 2017년 통계청에서 발표한 주요 국가의 고령화 속도 전망을 보면 프랑스가 39년, 미국이 21년, 독일이 37년, 일본이 12년이지만, 우리나라는 8년으로 매우 빠르게 사회구조가 변하고 있다고 한다[1]. 또 다른 주요 요인 중 하나인 국가사회의 복잡다양성의 심화로 다루어야 할 정책 문제의 수가 많아지는 다량화, 문제와 문제가 얹혀 있어 과거와 비교하여 훨씬 복잡해진 복잡화, 그 내용 또한 매우 다양해진 다양화, 해결의 신속성과 전문성을 필요로 하는 문제해결의 신속·전문화 현상으로 나타나 정책 수립을 위한 의사결정자나 담당자가 많은 내용을 다루기에는 인력적·경제적·시간적·비용적 한계로 인해 어려움이 증대되고 있는 현실이다.

2. 증거 기반 정책 수립의 필요성

이렇듯 국가사회문제에 대한 정책적 대응의 중요성이 강조되고 있는 가운데 정책 수립자를 지원하기 위해 증거 기반 정책(EBP: Evidence-Based

Policy)이라는 용어가 떠오르고 있다. 이는 정책학을 포함한 여러 공공정책 분야에서 활용될 수 있도록 공공정책이 사람의 직관, 경험, 가치에 기반을 두는 것도 의미가 있지만, 데이터와 같이 실증적 자료나 증거를 기반으로 정책 수립을 할 수 있도록 지원하는 것이 필요하다고 강조하고 있고[2], 최근의 정책 수립 과정에서 이를 의미 있게 받아들이고 있는 추세이다.

하지만, 이러한 증거 기반 정책 수립도 앞서 기술한 정책 수립을 어렵게 하는 요인들로 인해 마찬가지로 어려움을 겪고 있는 것이 사실이다. 이때, 정책 수립과 의사결정 과정에서 부딪치는 어려움을 다양한 형태의 기술적 지원을 통해 어느 정도 완화하거나 해결할 수가 있으며, 최근에는 다루고자 하는 국가사회적 문제의 중요성, 복잡성, 시급성이 높을수록 다양한 기술을 활용하는 것이 필수인 것으로 여겨지고 있다.

3. 증거 기반 정책과 정보통신기술

앞서 언급한 증거 기반 정책 수립을 어렵게 하는 여러 요인을 극복하기 위해 기술적인 지원이 필수적인 부분으로 받아들여지고 있는 가운데, 여러 기술 중에서 정보통신(ICT) 기술과의 연계도 필수적인 것으로 보여, 본 고에서는 증거 기반 정책 수립을 위해 필요한 주요 정보통신 기술을 표 1에 정리해 보았다.

정책 수립 분야와 표 1에서 나열한 것처럼 다양한 ICT 기술을 연계하여 증거 기반 정책 수립을 위한 시너지 창출이 필요하다고 본 고에서는 주장한다. 특히, 연계가 필요한 다양한 주요 ICT 기술을 나열했지만, 공공정책 분야에서 활용하기 위해서는 해결하려는 문제와 관련된 데이터 식별이 선행되어야 하며, 이러한 부분은 공공정책 분야와 ICT



그림 2 디지털트윈 기술의 적용과 확산 사례

2016년으로 항공엔진 제조 분야의 세계적인 기업인 GE(General Electric)가 데이터 기반 예측 유지보수가 가능한 디지털트윈 기술을 통해 실질적인 수익 향상 효과를 얻었음을 보고하면서 각광 받기 시작했다[4].

GE는 항공기 엔진의 안전성을 유지하면서, 가능한 효과적인 유지보수가 가능하도록 각 항공기 엔진마다 약 200여 개의 센서를 장착하여 데이터를 수집하고, 이를 분석하여 디지털트윈을 구축하고 각 엔진의 최적 유지보수 시점을 예측하여 안전성과 효율성을 효과적으로 관리할 수 있었다고 한다. 이러한 GE의 사례가 알려지면서 그림 2와 같이 머신관리 디지털트윈, 차량 운행/시험 디지털트윈, 건축물 관리 디지털트윈, 복지/헬스케어용 휴먼 디지털트윈, 자산(Asset) 디지털트윈, 네트워크(Network) 디지털트윈, 프로세스(Process) 디지털트윈 등 다양한 분야로 데이터를 활용한 디지털트윈의 구축 시도가 확산되기 시작했다[5].

3. 디지털트윈 기술의 성장 동인

앞서 언급했던 것처럼 디지털트윈 기술의 정책적 활용을 위해 관심을 받는 주요 요인을 정리해

보고자 한다.

가. 사람의 인지적 한계 극복의 수단

정책 수립자의 경험에서 나오는 직관에 데이터 기반의 합리성을 더하여 한번 일정한 경로에 의존하기 시작하면 나중에 그 경로가 비효율적이라는 사실을 알고도 여전히 그 경로를 벗어나지 못하는 경향성을 띠게 된다는 사회심리학적 개념인 경로 의존성[6]으로 흐르게 될 가능성을 줄여줄 수 있는 수단으로 활용 가능하다.

나. 이종 데이터간 융합의 도구

각 정책 수립 담당자가 보유하고 있는 데이터는 부분적인 것으로 전체적인 사회현상을 파악하기에 한계가 따를 수 있는데, 이에 대해 이종 데이터간 융합을 통해 보다 복합적이고, 전체적인 관점으로 사회현상에 접근할 수 있는 한 방법론이 될 수 있으며, 이를 위해 디지털트윈은 의미 있는 도구의 기능을 제공할 수 있다.

다. 시계열 시각화 도구

정책 수립 시 특정 사회현상이나 정책에 대해 과

거, 현재, 그리고 시뮬레이션 예측을 통해 정책의 사결정에 활용할 수 있는데, 디지털트윈은 이러한 시계열 시각화 기능을 제공할 수 있는 도구이다.

라. 다양한 기술을 연결할 수 있는 도구

증거 기반 정책 수립을 위해 활용이 필수적인 데이터의 다양한 처리, 실시간 IoT 데이터 수집, 인공지능을 활용한 데이터 학습과 추론, 모델링과 시뮬레이션 예측, 다양한 기법(2D/3D/AR/VR 등)의 시각화 등 다양한 기술을 연결할 수 있는 도구의 기능을 제공하여 정책 수립자를 지원할 수 있다.

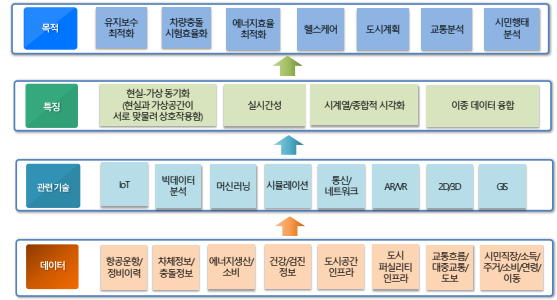


그림 4 디지털트윈 기술 활용 개념도

수준에 대해 있는 그대로 받아들여야 할 필요성도 있다.

4. 디지털트윈 기술의 현재 성숙도 수준

디지털트윈이 2016년 이후 시장조사기관인 가트너에서 매년 발표하는 차년도 10대 전략기술에 지속적으로 포함되며 관심도가 높은 것이 사실이지만, 그림 3과 같이 동 기관에서 발표하는 2018년 하이프 사이클(Hype Cycle)을 참고해 보면 2018년 기준으로 디지털트윈에 대한 시장의 기대치는 정점에 도달한 것으로 볼 수 있으며, 향후 수년간은 가트너에서 정의하는 이해단계와 안정기에 접어들기 전까지 다수의 실패사례와 소수의 성공사례가 혼재할 것으로 예상되는 시기로 현재의 성숙도

5. 도시정책 디지털트윈 고려사항

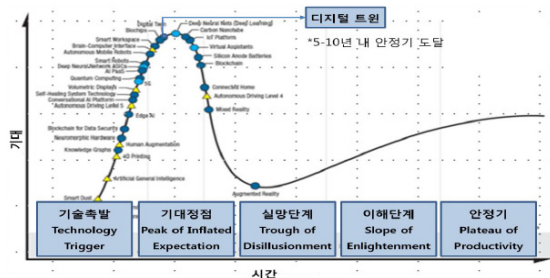
디지털트윈 기술의 개념에서 살펴봤듯이, 디지털트윈 기술은 활용하려는 목적과 분야에 따라 수집해야 할 식별 데이터가 정해지게 되며, 활용 목적에 맞도록 다양한 기술을 선정하여 디지털트윈 기술의 특징적인 기능을 활용하게 된다. 즉, 디지털트윈 기술은 사용 목적에 따라 활용해야 할 데이터와 기술이 달라지는 수단이자 도구이며, 이에 대한 개념을 그림 4에 도식화했다.

III. 도시정책 디지털트윈 사례

앞서 기술했던 디지털트윈 기술은 제조 분야에서 시작되어 다양한 분야로 적용이 확산되고 있는 상황인데, 그중에서 이 장에서는 도시 분야의 적용 사례에 대해 동향을 파악하고, 그중에서 관심을 가져야 할 두 가지 주요 사례를 요약하고자 한다.

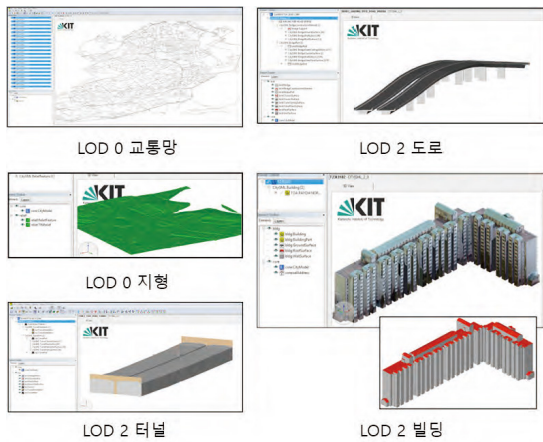
1. 버추얼 싱가포르 프로젝트

디지털트윈 기술의 도시 적용 분야의 최초 사례



출처 Gartner, "Hype cycle with digital twin at the top of the peak of expectations," Aug. 2018., Gartner의 사용허가를 득하여 인용. 이용 시 Gartner에 문의.

그림 3 2018년 가트너 기술 기대 곡선(Hype Cycle)

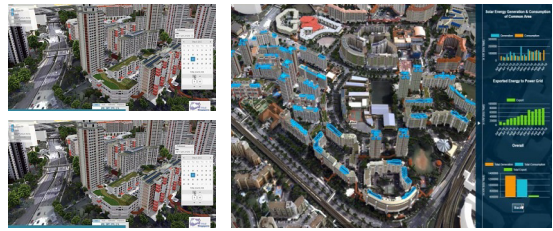


출처 K. H. Soon and V. H. S. Khoo, 2017, CC BY 4.0 [7]

그림 5 버추얼 싱가포르의 표준화된 3차원 도시공간정보 예시

로 알려진 버추얼 싱가포르 프로젝트(Virtual Singapore Project)는 2016년 싱가포르 정부의 스마트 네이션(Smart Nation) 계획의 일환으로 추진되어 연구재단(NRF: National Research Council)에서 사업을 발주하고, 프랑스의 컴퓨터 지원 설계 소프트웨어(CAD: Computer-Aided Design) 전문기업인 다쏘시스템즈(Dassault Systems)가 실제 프로젝트를 수행했다. 버추얼 싱가포르는 3차원 기반의 도시설계 도구이자 플랫폼으로 도시공간정보를 표준화하고 데이터 관리에 중점을 두어 공간과 연계된 건물, 도로 등의 사물 식별정보를 체계화했다. 다른 도시와 비교하여 차별화된 요소는 국가의 20만 개 이상의 빌딩별로 BIM(Building Information Model)과 표준 데이터 모델로 CityGML을 채택하여 파일을 별도 관리 및 운용의 효율성을 도모하고 있다. 그림 5는 버추얼 싱가포르에서 중점적으로 관리하는 표준화된 3차원 도시공간정보 LOD(Level Of Detail)별 예시이다.

이렇게 구축된 싱가포르형 디지털트윈은 기온과 일조량에 대한 데이터 융합으로 신규 도시 건설 시 다른 건물의 일조량이나 온도에 미칠 영향을 예



일조량 예측을 통한 인허가 정책 활용 사례 태양광 발전 패널의 설치에 따른 에너지 생산량 예측과 정책 활용 사례

출처 Reprinted with permission from [8] © National Research Foundation Singapore

그림 6 버추얼 싱가포르의 정책 활용 사례

측하여 인허가하는 서비스를 제공하거나, 빌딩의 높이 정보, 일조량 등 데이터 융합으로 태양광 발전 패널의 설치에 따른 에너지 생산량을 예측하는 등의 정책에 활용한 사례가 있는데, 그 사례의 예시는 그림 6에 나타나 있다.

2. 중국 항저우 시티 브레인 프로젝트

버추얼 싱가포르가 도시 건축물 데이터의 표현 중심이라면, 시티 브레인(City Brain)은 교통 혼잡, 버스 데이터의 디지털트윈 표현을 기반으로 신호등과 버스노선 제어 정책에 활용하는 차별점이 있다.

시티 브레인은 도시 빅데이터를 실시간으로 수집, 분석해 공공자원을 효율적으로 조달하는 것을 목적으로 항저우시 정부와 협업해 알리바바 그룹이 주도적으로 추진하고 있는 프로젝트이다. 시티 브레인 1.0은 2017~2018년에 2년간 중점 추진됐으며, 항저우 시내 다양한 시설 데이터와 시범지역의 신호등 및 교차로에 설치된 CCTV에서 촬영되는 영상을 통한 인공지능 시스템이 교통량 및 차량 이동 방향을 인지한 데이터를 기반으로 교통 중심의 도시 모니터링 디지털트윈을 구축하고 화재나 교통사고 등 사건, 사고 발생 시 해당 상황을 빠르게 인식해 후속 조치를 스마트하게 처리, 안전 사



출처 Reprinted with permission from [10] © Platum

그림 7 시티 브레인의 4가지 주요 정책 서비스

각지대를 조기에 발견해 예방조치 마련, 혼잡한 교통상황을 원활하게 바꾸는 교통시스템 조율, 대중의 수요에 맞춰 대중교통 배차 간격을 조율하는 크게 4가지의 정책 서비스를 제공하는 것이 시티 브레인 1.0으로 알려져 있다[9]. 시티 브레인의 발표에 따르면, 8만여 개의 신호등 통제를 통해 시범지역 평균 통행시간이 15.3% 줄어들고, 고속도로는 4.6분 절약, 구급차의 현장 도착 소요 시간이 평균 14분에서 7분으로 감소하여, 항저우시가 2017년 이전까지 교통체증이 중국 내 3위에 이를 정도로 극심했으나, 시티 브레인을 통한 교통체증 관리 이후 48위로 나타났다고 한다. 그림 7은 시티 브레인에서 제공하는 4가지 주요 정책 서비스 기능을 나타내고 있다.

시티 브레인은 1.0에서 멈추지 않고, 2019년 2.0 추진 계획을 발표하고, 1.0에 데이터와 기능을 지속적으로 더하여 항저우시의 위성도시에 이르는 지능형 관리 체계 구축 추진을 목표로 하고 있으며, 스마트 교통을 넘어서 도시 치안 관리를 포함한 다양한 공공 서비스 분야에서 시민 생활 개선이 이뤄지도록 할 것이라고 한다. 시티 브레인 2.0은 현재 일 평균 3만여 건의 경찰 투입이 필요한 사건을 실시간 모니터링하고 있으며, 사건 발생 후 신고 접수까지 걸리는 시간이 약 10분에 불과해 해당

시스템 도입만으로 경찰 인력 280명 증가에 해당하는 효율을 내고 있으며, 360° 도로 감시 데이터를 바탕으로 110여 종의 사건을 분석하고 이를 연계된 지도 앱과 라디오 등을 통해 운전자에게 실시간으로 알려주어 주변 교통 체증을 방지하는 역할을 하고 있다고 한다.

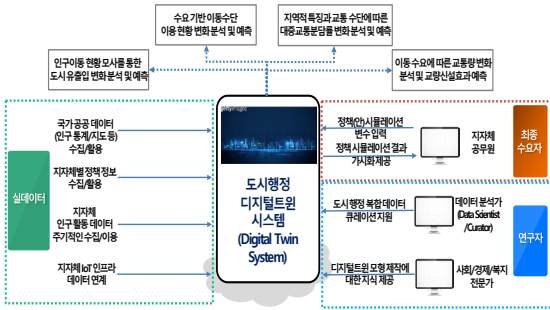
항저우 시티 브레인은 항저우에서 출발하여 주변의 위성도시뿐만 아니라 보다 광범위한 도시로 확장하고, 다양한 데이터와 정보를 종합하여 도시의 정책 의사결정을 지원할 수 있도록 다차원 인지, 전면 통찰, 실시간 결정, 지속적으로 진화하는 4가지 기능을 지원하여 스마트도시를 실현하는 데 중요한 도구의 역할을 디지털트윈이 수행할 수 있도록 추진 중에 있다.

IV. 세종시 도시행정 디지털트윈 프로젝트

세종시의 도시행정 디지털트윈 프로젝트는 2018년부터 2022년까지 총 5개년 계획으로 과학기술정보통신부가 지원하고, ETRI, 세종시, KAIST, 서울대학교 행정대학원, 한밭대학교, (주)바이브컴퍼니가 공동으로 연구개발을 진행하고 있다. 세종시를 수요처로 데이터 기반으로 가상세종 디지털트윈을 구축하여 정책 수립 지원을 목적으로 연구개발 추진 중이며, 연구개발을 통해 도출된 일부 실제 정책 수립 활용 사례 중심의 추진 현황과 향후 계획을 소개하고자 한다.

1. 세종시 도시행정 디지털트윈 개요

세종시 도시행정 디지털트윈은 도시사회문제를 증거 기반 정책 수립을 통해 해결할 수 있도록 지원하는 핵심 기술을 개발하고, 실제 도시인 세종시에서 실증을 추진하고 있다.



출처 게티이미지뱅크, 무단 전재 및 재배포 금지

그림 8 세종시 도시행정 디지털트윈 프로젝트 개념

그림 8은 프로젝트의 개념을 도식화한 것으로, 지역적 특징과 교통수단에 따른 대중교통 분담률 변화 분석 및 예측이 포함된 세종시에서 요구하는 정책 수립 서비스를 지원하기 위해 국가의 공공 데이터, 통신사 등 민간 데이터, 지자체의 실데이터를 기반으로 도시의 분야별 전문가와 연구자가 분석을 통해 도시행정 디지털트윈 시스템을 연구 개발하여 최종 수요자인 지자체 공무원에게 정책 수립 시 활용할 수 있도록 기능을 제공하는 것을 목표로 하고 있다.

기술적으로는 다양한 종류와 대규모의 데이터

2. 세종시의 정책 요구사항

세종시는 디지털트윈 기술과 관련하여 다양한 요구사항이 있지만, 본 고를 작성하는 현시점의 시민 민원으로 인한 시급성과 도시의 기수립된 계획을 고려해 볼 때 이동수단 정책 분야의 정책 의사 결정 수립 시 지원이 가능한 디지털트윈 기술이 요구되고 있다. 이때, 세종시의 실제 이동수단 정책은 공영자전거(어울링) 운영 개선 및 재배치 효율화, 생활권별 전동킥보드 신규 도입 거치소 예측, 광역급행버스노선 신설에 따른 수요 예측, 교량 신설 등이다. 이를 지원하기 위해 세종시의 하루 동안의 비교적 정밀한 인구이동 수요와 이동수단 공급 간의 현황을 분석하고 예측이 가능한 가상세종



그림 9 세종시 도시행정 디지털트윈의 주요 기능

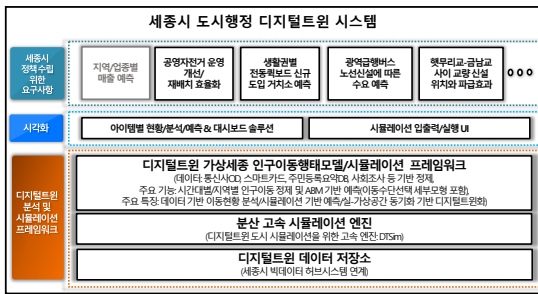


그림 10 세종시의 정책 의사결정 지원을 위한 요구사항과 필요 기술

디지털트윈 인구이동행태 시뮬레이션 프레임워크가 필요하게 되고, 세종 시민 전체의 세밀한 이동을 모사하기 위해서는 대규모의 데이터 처리와 시뮬레이션이 필요하여 고속 분산 시뮬레이션 엔진의 지원이 필요하다. 이에 대한 부분은 그림 10에서 도식화했다.

3. 세종시 도시행정 디지털트윈 현황

가. 추진 핵심 개념

세종시의 요구사항에 따라 하루 단위 시민의 이
동을 파악하기 위해 수집 가능한 데이터를 활용

한 통계 기반 모델링뿐만 아니라 사회현상에 대한 원인에 대한 접근을 위해 행위자(Agent) 기반 모델링 및 시뮬레이션(ABMS: Agent Based Modeling & Simulation)을 활용하여 세밀한 도시의 이동행태를 모사한 디지털트윈 구축을 추진했다. 이는 유사한 기존 연구가 대상 표본에 대한 설문 조사를 활용한 정책 수립을 추진하던 것을 대규모의 데이터를 활용한 도시의 시민 전체를 행위자로 모델링된 디지털트윈 가상도시에서 실제와 유사하게 이동하도록 하여 도시의 행태를 파악하고 예비정책에 따른 변화를 예측한다. 이렇게 통계 기반 모델링과 에이전트 기반 모델링을 합성하여 사회현상에 대한 원인에 접근하는 방법론은 이상적인 것으로 알려져 있으나, 그간 도시 규모의 사회현상에 대해 추진이 어려웠던 이유는 각각의 행위자에 대한 데이터를 식별하고 수집하기 어렵다는 점과 도시 규모의 모든 행위자를 컴퓨터상에서 시뮬레이션을 수행할 때 성능의 한계로 인해 시뮬레이션에 너무 오랜 시간이 소요되거나, 컴퓨터의 자원 제약으로 시뮬레이션 수행 자체가 어려웠기 때문이다[11]. 이러한 문제점을 주요처인 세종시와의 협력을 통해 도

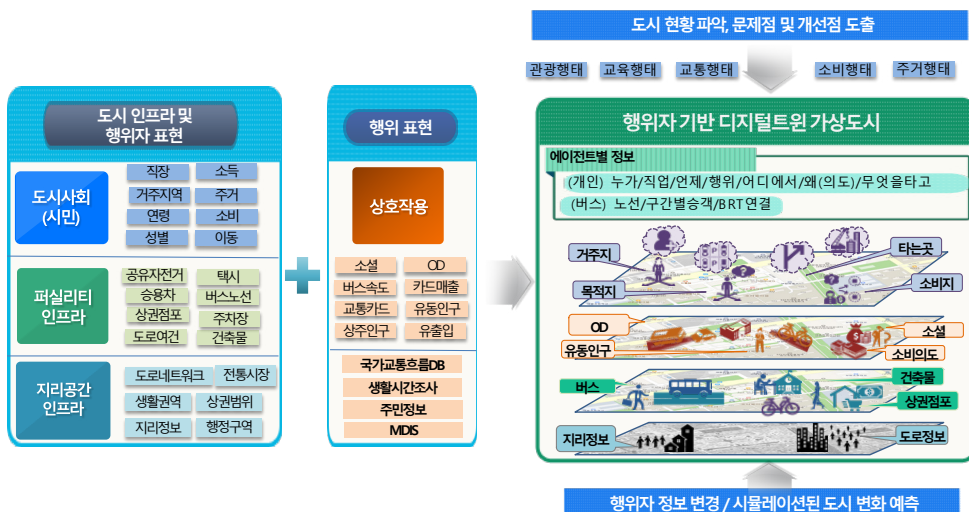


그림 11 행위자 기반의 이동행태 디지털트윈 구축 개념

시의 다양하고 방대한 데이터를 식별 및 수집하고, 과거에 비해 크게 개선된 고성능 컴퓨팅 기술을 적용하여 극복을 추진하고 있다.

나. 행위자 기반 이동행태를 표현하는 디지털트윈 구축 방법

이렇게 도시의 각 시민과 이동수단을 행위자로 표현하는 행위자 기반의 가상도시 디지털트윈을 구축했는데 이를 그림 11에서 개념적으로 표현했다.

행위자 기반의 이동행태를 표현하는 디지털트윈을 구축하기 위해 지리 공간 인프라, 퍼실리티 인프라, 도시 시민, 상호작용으로 크게 4가지로 구분된 유형의 데이터와 모델을 구성하고, 다른 유형의 이동행태를 보이는 주중과 주말을 구분하여 하루에 대해 1분 단위로 이동행태를 모사하고 있다.

지리 공간 인프라는 통계청 집계구를 세종시의 특징에 맞게 487개 블록으로 재구성하고, 대전, 청주, 천안, 공주 등 주변 도시를 추상화 했다. 또한, 7,879개의 도로와 3,090개의 교차로 데이터와 2025년 계획인 5, 6생활권 인프라 데이터도 포함하고 있다. 퍼실리티 인프라는 36,313개의 건물(업종 정보 포함, 소상공인상가정보, 인허가정보, 건축물대장, 공공기관/시설정보 포함), 1,979개 정류장, 4,860개의 버스경로, 169개의 버스노선, 약 14만 대의 등록승용차, 2,596대의 공영자전거, 594개의 공영자전거 대여소 데이터가 구축되어 있다. 도시 시민은 354,740명의 인구(나이, 성별, 정도, 위도, 직업(유형수: 9개, 유형: 공무원, 자영업자 및 종업원, 학생, 대학생, 사무직장인, 교직원, 의료인, 주부, 무직), 거주지)에 대한 비식별된 데이터, 통계청 MDIS(MicroData Integrated Service), 지역별고용조사, 인근도시(대전, 청주, 천안, 공주 외 기타 시도)와의 유출입 인구 정보 데이터를 포함하고 있다. 이동을 표현하는 상호작용은 생활시간실태조

사(2015년 기준)를 기초로 행위자의 행위(유형수: 12개, 유형: 배웅, 출근, 등교, 귀사, 귀가, 업무, 학원, 쇼핑, 레저, 외식, 친지방문, 기타)로 표현하고 있으며, 가구통행실태조사, 전국사업체조사, 건물 데이터를 활용하여 도시의 특성에 맞는 통행목적별 분포량 추정 모형(Frata, Gravity 등)을 활용하고 [12], 머신러닝 기반 도시의 상황에 맞는 이동수단(도보, 자차, 버스, 자전거, 전동킥보드) 선택 모형이 구축되어 있다.

다. 디지털트윈 모사 결과 및 현재 수준

이렇게 구축된 디지털트윈을 통해 세종시의 주중/주말 하루의 1분 단위로 일어나는 모든 행위자에 대한 이동 행위를 모사하여 예비정책에 따른 행위자의 이동행태를 파악하여 도시의 전반적인 이동행태를 파악 및 예측할 수 있게 된다. 그림 12는 특정 행위자에 대한 행위를 출력한 것으로 모든 행위자에 대한 정보를 모사하게 된다.

정책 수립자는 행위자 모델이 포함된 디지털트윈 시스템에 이동수단 예비정책 모델을 연계하여 정책 시행 시의 변화를 실험해 볼 수 있게 된다. 그림 13은 광역급행버스노선 신설 모형을 연계하여 신설노선별 수요를 예측하는 예시이다.

구축된 이동행태 디지털트윈이 현실 도시를 어느 정도 모사하고 있는지를 살펴보는 과정도 다양한 방법론을 활용해야 할 것이나 추진 연구가 진

모형	나이	성별	거주지	직업	시간	행위	상징	목적지	교통수단
행위 모형				In	In	Out			
이동 분포 모형			In			In		In / Out	
교통수단 선택 모형	In	In			In	In		In	Out
시뮬레이션 (예시)	30대	남자	새롬동	공무원	8시	출근	관공서	여진동	자차
					12시	외식	식당	도담동	도보
					18시	쇼핑	쇼핑	고운동	자차
					20시	레저	레저	조치원읍	버스
					22시	귀가	주택	새롬동	버스

그림 12 특정 행위자의 행위 결과 예시

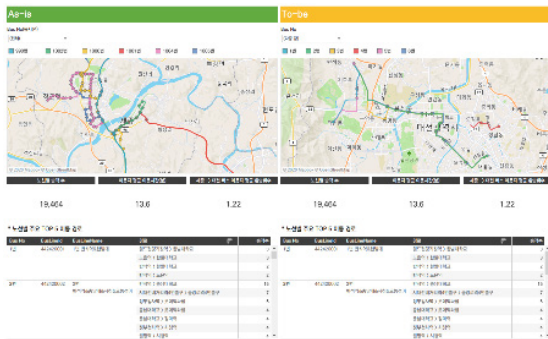


그림 13 광역급행버스노선 신설 예비정책 시뮬레이션 예시

행 중인 상황이므로, 부분적인 검증을 수행했다. 검증 방법은 디지털트윈 모사 결과와 현실의 실제 데이터 간 비교를 했는데, 사용한 데이터는 버스카드 데이터와 단위 시간별 도로를 지나가는 차량 수를 인식하는 VDS(Vehicle Detection System) 데이터이다. 먼저, 세종시와 대전시 간 버스카드 데이터를 활용한 시간대별 이용 승객 수 비교에서는 평균 81.2%의 신뢰도를 보였으며, VDS 데이터를 통한 검증은 평균 약 80% 수준의 신뢰도를 보였다. 이때, VDS 데이터는 세종시의 모든 지점과 비교는 어려워, 세종시와 대전시 간 교통량이 많은 것으로

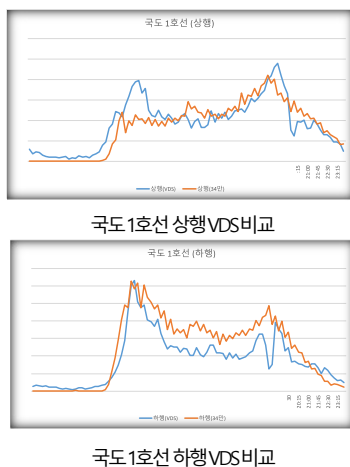


그림 14 국도 1호선 상하행 VDS 데이터 비교
(파란색: VDS, 붉은색: 디지털트윈 모사 데이터)

로 알려진 세종-대전 간 국도 1호선 중 남세종IC 인근이며, 비교는 2020년 8월 데이터를 활용했다. 이는 전체적인 신뢰성이 검증된 것은 아니며, 향후 기술적인 보완과 추가적인 신뢰성 검증이 이루어져야 할 필요성이 있다. 그림 14는 실제 VDS의 국도 1호선 상하행 데이터와 디지털트윈의 모사된 데이터 간 시간대별 비교 그래프이다.

4. 세종시 공영자전거 운영 적용 사례

2020년 7월, 세종시는 구축된 도시행정 디지털트윈 시스템을 활용하여 공영자전거(어울링) 운영 개선 정책 수립 시 최초 활용하고, 그 사례를 공개했다. 세종시는 2014년에 공영자전거(어울링)의 운

표 2 디지털트윈 기반 공영자전거(어울링) 운영 개선 정책 적용점 정리

분석방향	디지털트윈분석 내용 (ETRI, 세종시청 스마트 도시과)	공영자전거 운영 정책 수립 및 적용 (세종시청 도로과)
① 일반현황	이용건수, 가입자수	⇒ 어울링 운영현황 파악
	회원수, 연령층	
	시간대별 대여건수	
② 이용건수 대비 이용자 측면	어울링 모델별 자전거·대여소 현황	⇒ 신규 이용자 유입 및 유령회원의 재이용 유도를 위한 정책 발굴
	중복이용건수를 제외한 이용자 현황	
	대여횟수별 회원 분포도	
③ 어울링 보유대수 적절성	시간대별 대여소별 대여건수 최대치	⇒ 대여소 시간대별 '재배치 가이드' 마련
	성수기·비성수기 회전율 분석	
	대여소 시간대별 재배치 수요 분석	
④ 어울링 모델별 추이	모델별 이용률, 회전율 분석	⇒ 뉴어울링이 연차별 도입 계획 수립 뉴어울링 대여소 확충
	회원가입일 기준 어울링 모델 선호도	
	구어울링·뉴어울링 근접 대여소 이용량	

영에 착수하여 현재까지 공영자전거와 대여소를 단계적으로 확충하여, 2020년 말 현재 총 2,596대의 공영자전거와 594개의 대여소를 운영하고 있고, 변화하는 세종시의 도시 인프라와 간선급행버스체계(BRT: Bus Rapid Transit)로 인해 도심 내에 승용차나 일반 버스의 운행이 제한되는 지역적 특성으로 인해 공영자전거가 1~2km 정도의 거리에서는 의미 있는 이동수단의 역할을 담당하고 있다. 하지만, 늘어난 인구와 이용 패턴에 맞춰 운영 정책을 재수립할 필요성이 생겨 늘어난 인구, 공영자전거수, 대여소 위치, 주 이용 위치(버스정류장, 정부세종청사 등 건물)를 고려한 디지털트윈 기반 정책 수립을 시도하게 되었다.

표 2에서 정리한 것처럼 그간 공영자전거의 일반현황, 이용건수(패턴), 공영자전거 대수의 적절성, 공영자전거별 이용패턴에 대해 디지털트윈 분석과 예측을 통해 신규 이용자 유입 및 재이용 유도 정책 발굴, 대여소별/시간대별 재배치 가이드

마련, 적정보유대수 검토 및 연도별 보유 계획 수립, 신규 공영자전거 도입 계획 수립, 신규 대여소 확충의 공영자전거 운영 정책의 세부 시행 계획을 수립하였다. 그리고 축적되는 공영자전거 데이터를 하루 단위로 분석, 인공지능 학습 및 시간대별/대여소별 적정 자전거 수를 예측하는 기능을 개발하여 향후 실제 적용할 계획이다. 그림 15는 지속적인 공영자전거 운영 정책 수립을 위해 디지털트윈 시스템에서 담당자에게 제공하는 시각화 기능의 예시이다.

5. 향후 추진 계획

세종시를 수요처로 하는 도시행정 디지털트윈 기술은 2021~2022년에 그간 연구개발된 결과물을 실제 도시에 실증하며, 기능을 검증하거나 부족한 기능을 보완하여 연구개발된 결과물이 도시에서 지속적으로 활용될 수 있도록 추진할 계획이다. 이를 위해, 디지털트윈 기술의 필수적인 기능 중 하나인 데이터 현황화를 통한 실-가상세계 간 지속적인 동기화가 이루어질 수 있는 체계를 갖추고자 우선적으로 추진할 계획이다. 이후로는, 세종시뿐만 아니라 데이터상으로 세종시와 유출·입이 많은 것으로 나타나는 대전, 청주, 천안, 공주 외 기타 도시로 보다 상세한 연관 관계를 분석하고 기능을 확장하여 다중 도시 간 시너지를 창출할 수 있도록 연구개발을 추진하고자 한다.

V. 결론

본 고를 통해 데이터 처리, IoT, 통신, 인공지능, 시뮬레이션, 2D/3D/VR/AR 시각화 등 다양한 기술을 효과적으로 활용할 수 있는 디지털트윈 기술

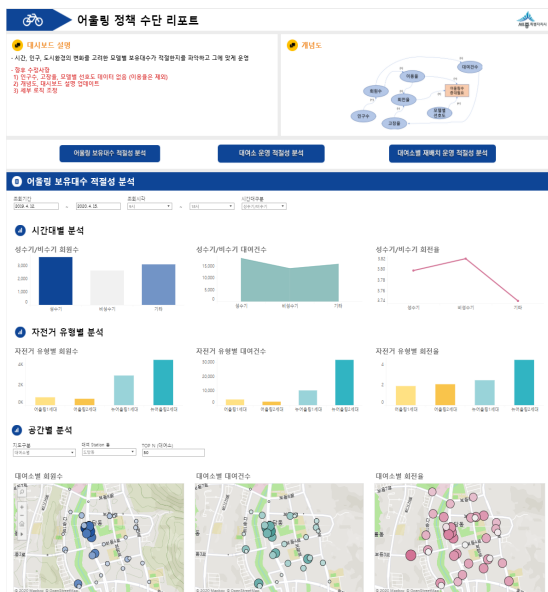


그림 15 지속적인 공영자전거(어울림) 운영 개선 정책 수립을 위한 디지털트윈 시각화 기능 예시

의 개념과 디지털트윈 기술이 제조 분야를 시작으로 다양한 분야로 확산되고 있음을 알 수 있었다.

이렇게 적용이 확산되고 있는 분야 중에는 도시 정책 분야도 있음을 글로벌 사례와 세종시의 도시 행정 디지털트윈 연구개발 사례를 통해 살펴보았다. 데이터를 기반으로 하는 디지털트윈 기술의 특징으로 인해 디지털트윈은 다양한 분야에서 증거 기반 정책 수립을 위한 효과적인 기술적인 도구로 될 수 있을 것으로 기대되며, 이를 위해 공공정책 분야와 디지털트윈 기술 분야 간 다양한 형태의 융합 연구가 활성화될 필요성이 있는 것으로 보인다. 또한, 국가와 도시 정책을 위한 디지털트윈 기술은 국토교통부 산하의 지하공동구, 3D 도로정밀지도 등 정밀 인프라 기술, 과학기술정보통신부 산하의 행위자 기반 도시행정 디지털트윈, 산업통상자원부와 중소벤처기업부 산하의 제조 디지털트윈 등이 있는데, 효율적인 활용을 위해서는 다양한 목적의 디지털트윈 기술 간에도 융합형 연구가 필요하고, 이를 통해 보다 종합적인 국가사회 디지털트윈 구축과 정책적 활용을 위한 정책이 필요하다고 제안하고, 실현될 수 있기를 기대한다.

약어 정리

ABMS	Agent Based Modeling & Simulation
AI	Artificial Intelligence
BIM	Building Information Model
BRT	Bus Rapid Transit

EBP	Evidence—Based Policy
ICT	Information & Communications Technology
IDX	Intelligent Digital X—transformation
IoT	Internet of Things
LOD	Level Of Detail
MDIS	MicroData Integrated Service
VDS	Vehicle Detection System

참고문헌

- [1] 오세진, “더욱 빨라지고 있는 고령화 속도,” 이슈브리프, KDB미래전략연구소, 2019. 4. 22.
- [2] <http://ko.wikipedia.org/wiki/증거기반정책>
- [3] <https://news.samsung.com/kr/디지털트윈-지금이야말로-허실虛實-따질-때>
- [4] <https://www.gereports.kr/ge-annual-letter-2016/>
- [5] <https://www.gereports.kr/everthing-about-digital-twin/>
- [6] https://ko.wikipedia.org/wiki/경로_의존성
- [7] K. H. Soon and V. H. S. Khoo, “CityGML modeling for singapore 3D national mapping,” in Proc. Int. Arch. Photogramm., Remote Sens. Spat. Inf. Sci. Melbourne, Australia, 26-27 Oct. 2017, pp. 37-42. <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLII-4-W7/37/2017/isprs-archives-XLII-4-W7-37-2017.pdf>
- [8] 싱가포르 연구재단 홈페이지, Virtual Singapore, <https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore>
- [9] 코트라, <https://news.kotra.or.kr/user/globalBbs/kotranews/782/globalBbsDataView.do?setIdx=243&dataIdx=179592>
- [10] Platum, <https://platum.kr/archives/108889>
- [11] E. Silverman et al., “When demography met social simulation: A tale of two modeling approaches,” J. Artif. Soc. Soc. Simul. vol. 16, no. 4, 2013.
- [12] 국토교통부, “제6차 개정, 교통시설 투자평가지침,” 2017. 6.